4.

A. Kalähne. Überreicht vom Verfasser. 1903

Notiz über elektrische Widerstandsöfen.

Von

Alfred Kalähne.

26

Separat-Abdruck aus den

Annalen der Physik.

Vierte Folge. Band 11.

1903.

Leipzig,

Johann Ambrosius Barth.

2. *Notiz über elektrische Widerstandsöfen;*
von Alfred Kalähne.

In meiner vorangehenden Abhandlung über „Schallgeschwindigkeit und Verhältnis der spezifischen Wärmen der Luft bei hoher Temperatur" habe ich ganz kurz zwei elektrische Widerstandsöfen beschrieben, die als Interferenzröhren zur Messung der Wellenlänge eines Tones bei Temperaturen bis 1000^0 dienten. Es ist vielleicht zweckmäßig, im Anschluß daran mit wenigen Worten über meine Erfahrungen zu berichten, die ich mit diesen und mehreren anderen ähnlich konstruierten gemacht habe. Besonders mag die Kenntnis der zur Erhitzung auf eine bestimmte Temperatur aufzuwendenden Energiemenge bei gegebenen Ofendimensionen manchem erwünscht sein. Allerdings kann dieselbe nur ganz roh angegeben werden, da sie von dem größeren oder geringeren Wärmeverlust durch Strahlung und Leitung abhängt, der durch die spezielle Konstruktion bedingt ist.

Alle von mir benutzten Öfen bestehen aus nicht zu dünnwandigen Röhren aus feuerfestem Material (Berliner Porzellan, Marquardtsche Masse), um welche eine oder zwei Spiralen aus Nickeldraht gewickelt sind. Als Wärmeschutz ist ausgeglühte Asbestschnur gewöhnlich in mehreren Lagen herumgelegt und das Ganze außen von einem Messingrohr umhüllt, das lose über die Asbestpackung übergeschoben wird. Meist habe ich außderdem noch ein zweites 1—2 cm weiteres Messingrohr übergeschoben, das an den Enden durch zwei um das innere Rohr gelegte Asbestschnurringe getragen wird, sodaß zwischen beiden ein Luftmantel von 0,5—1 cm Dicke als Wärmeschutz bleibt. Es scheint übrigens, als ob die Asbestwickelung besser wirkt als der Luftmantel, wahrscheinlich weil bei diesem die Luftströmungen sehr viel Wärme nach außen transportieren. Ein idealer Schutzmantel würde ein luftleer gepumpter Hohlzylinder sein, dessen innere Wand spiegelt, wie bei den Dewarschen Flaschen für flüssige Luft. Die Konstruktion eines solchen ist aber hier mit großen

Schwierigkeiten verknüpft, und ich habe deshalb davon abgesehen.

Als Spiegel sollten freilich die Metallmäntel wirken, sie erfüllen diesen Zweck aber nicht ganz, weil sie beim Warmwerden anlaufen und ihr Reflexionsvermögen zum großen Teil verlieren.

Auch der andere Zweck, dem sie dienen sollen, nämlich Temperaturverschiedenheiten längs des Ofen durch ihr gutes Wärmeleitungsvermögen auszugleichen, wird nur mangelhaft erfüllt, da die Wärme immer erst die dicke schlechtleitende Asbestschicht passieren muß, um zum Metalle zu gelangen. Immerhin wird man bis zu einem gewissen Grade eine Wärmeregulierung durch die Metallhüllen annehmen können, da, wie die Erfahrung lehrt, eine lokale Erwärmung oder Abkühlung der Messinghülle eine Temperaturänderung an der betreffenden Stelle im Innern des Ofens zur Folge hat. Kommt es auf örtliche Konstanz der Temperatur längs einer größeren Strecke an, so ist die exakte Wickelung der Heizspirale das einzige Mittel, das zum Ziele führt. Wegen der stärkeren Wärmeabgabe an den Enden sind hier die Windungen etwas näher aneinander zu legen, wenn die Temperatur bis zu den Enden dieselbe sein soll wie in der Mitte. Ich habe die Ganghöhe der Spirale an den Enden und in der Mittelstrecke des Rohres etwa im Verhältnis 4:5 genommen und damit gute Resultate erzielt.

Die exakte Umwickelung des Rohres mit der Spirale gelingt, wenn auch mit einiger Mühe, selbst mit 1,5 mm dickem Nickeldraht, falls er wie der für diese Zwecke von der *Berndorfer Metallwarenfabrik (A. Krupp) in Berndorf* bezogene Draht weich geglüht ist. Schwieriger ist es ihn in dieser Lage festzuhalten, wenn er sich beim Erwärmen ausdehnt. Beim Aufwickeln entstehen in der Spirale leicht Spannungen, die sich sofort durch Verschieben der einzelnen Windungen ausgleichen, wenn der Draht infolge der Ausdehnung sich etwas von dem Ofenkern abhebt. Zum Fixieren der Enden dienen zwei (oder bei zwei Spiralen vier) Klemmringe aus nicht sehr starkem Messingblech von 1—2 cm Breite, die man sich leicht selbst herstellen kann. Dazu werden die Blechstreifen etwa 4—5 cm länger genommen als der Umfang des Rohres und die Enden so weit umgebogen, daß der Umfang des Ringes

etwas kleiner wird als der Rohrumfang. Beim Umlegen des Ringes bleibt dann zwischen den senkrecht zur Rohrachse stehenden Lappen ein Zwischenraum von 1—2 mm Breite. Preßt man nun die Lappen mit Klemmschrauben aneinander, so legt sich der Ring mit sanfter Federkraft dicht an das Rohr an und sitzt so auch auf glatten glasierten Röhren ganz fest. An den Klemmschrauben werden die Enden der Heizspirale befestigt. Andere Klemmen, die auf die Lappen aufgesetzt werden, dienen zur Befestigung der Leitungsdrähte. Die Messingringe können bis zum starken Anlaufen erhitzt werden, ohne daß eine Lockerung eintritt.

Zum Fixieren der Drahtwindungen längs des Rohres dient die Asbestschnur, deren Dicke gleich der Ganghöhe der Spirale (ca. 5 mm) genommen wurde, sodaß sie den Raum zwischen je zwei Windungen ganz ausfüllt. Besser wird der Draht durch eine Chamotteumhüllung statt des Asbestes festgehalten. So sind z. B. die Öfen konstruiert, die von Holborn und Day[1]) in der *Physikalisch-Technischen Reichsanstalt* benutzt worden sind. Ich habe diese Methode auch angewandt — einer der Öfen war von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft in Berlin in dieser Weise hergestellt —, jedoch gefunden, daß solche Öfen schneller zerstört werden, indem wahrscheinlich durch die hartgebrannte Chamotte, in der der Draht teils fest, teils locker darinsteckt, der glühende Draht zerrissen oder zerschnitten wird, weil sich beide ungleich stark ausdehnen. Auch bildet die Chamotte nicht eine dichte gleichmäßige Hülle, sondern zeigt zahlreiche Risse und Sprünge, sodaß der Zweck, den Draht luftdicht abzuschließen und vor dem Verbrennen zu schützen, nur unvollkommen erreicht wird. Da ferner der Asbest ein besserer Wärmeschutz zu sein scheint als Chamotte und die Neubewickelung, wenn der Draht durchgebrannt ist, bequemer bei Benutzung der Asbestpackung auszuführen ist, so habe ich schließlich allein diese angewandt.

Die ersten Öfen hatten zwei Nickelspiralen, die nebeneinander aufgewunden waren. Die Absicht war, durch diese Anordnung eine zweckmäßige Ausnutzung der elektrischen

1) L. Holborn u. A. Day, Wied. Ann. **68.** p. 836. 1899.

Energie zu erzielen. Da der Widerstand des Nickeldrahtes mit steigender Temperatur sehr stark wächst (bei 1000° beträgt er etwa das Vierfache des Widerstandes bei 20°), so muß die Drahtdicke so groß gewählt werden, daß die vorhandene Spannung genügt, auch bei dem erhöhten Widerstand einen hinreichend starken Strom zu erzeugen. Der Widerstand des kalten Drahtes ist dann aber so klein, daß man beim Anheizen, und wenn man nicht bei der höchsten erreichbaren Temperatur arbeitet, sehr viel Spannung in Vorschaltwiderständen vernichten muß, wodurch ein beträchtlicher Verlust an Energie entsteht und oft auch eine Belästigung durch die von dem Vorschaltwiderstand ausgehende Erwärmung. Das vermeidet man durch die Anwendung zweier Heizspiralen, die man beliebig hinter- oder nebeneinander schalten, oder auch einzeln benutzen kann. Die von Stevens[1]) bei seinen akustischen Messungen benutzten $1\frac{1}{2}$ m langen Öfen waren ebenfalls mit zwei Spiralen versehen, die in der angegebenen Weise geschaltet werden konnten. Ich bin jedoch später von der Benutzung zweier Spiralen abgegangen, weil das Aufwickeln und Befestigen der Drähte besonders wegen der notwendigen Isolierung gegeneinander schwieriger ist als bei einfachen Spiralen. Auf jeden Fall ist die Anwendung nur einer Spirale bei Öfen mit kleinen Dimensionen vorzuziehen, die nur eine geringe Energiemenge beanspruchen.

Die Anwendung des Nickeldrahtes als Heizspirale erlaubt Temperaturen bis etwa 1200° zu erzeugen; allerdings verbrennt der Draht hierbei ziemlich schnell. Geht man nur bis 1000°, so halten die Öfen lange Zeit, immer vorausgesetzt, daß man den Draht nicht öfteren, wenn auch kurzen Überlastungen aussetzt. Letzteres geschieht bei zu schnellem Anheizen, und ist besonders gefährlich, wenn der Ofen schon eine hohe Temperatur hat. Indem bei plötzlichem Ausschalten von viel Widerstand der Strom stark ansteigt, kann der Draht an einzelnen Stellen so hoch erhitzt werden, daß er durchbrennt oder durchschmilzt. Steigert man den Strom nur langsam, sodaß die mehr entwickelte Wärme Zeit hat in die Umgebung

1) E. H. Stevens, Verhandl. d. Deutschen Physik. Gesellsch. 3. p. 54. 1901.

abzufließen, so kann man ohne Gefahr die oben angegebene Temperatur von 1200° erreichen, bei der allerdings Porzellanröhren weich werden und sich durchbiegen. Viel weiter wird man mit Nickeldraht nicht gehen dürfen; für höhere Temperaturen kommt nur noch Platin in Betracht, wie es jetzt von Heräus in Form dünner Blechstreifen von etwa 0,007 mm Dicke verwandt wird. Störend tritt aber bei Temperaturen über 1400° die Verdampfung des Platins und mehr noch der Umstand auf, daß die Rohrmasse (Marquardtsche Masse) elektrolytisch leitend wird.

Die Öfen sind mit Ausnahme eines großen 2 m langen (M_1) aus Marquardtscher Masse, alle für eine Spannung von 65—70 Volt berechnet, die von der Akkumulatorenbatterie des hiesigen Instituts geliefert wurde. Bei allen Versuchen, wo es auf Konstanz der Temperatur ankommt, ist es nötig eine Stromquelle zu haben, deren Spannung konstant bleibt. Die Benutzung des von der städtischen Zentrale Heidelbergs gelieferten Stromes mit 220 Volt Spannung ergab wegen der starken Spannungsschwankungen bei dem Ofen M_1 recht schlechte Resultate bezüglich der zeitlichen Temperaturkonstanz.

Es genügt auch im allgemeinen nicht, allein die Stromstärke zu messen, sondern man muß gleichzeitig die Spannung an den Enden der Spirale bestimmen, um aus beiden die dem Ofen pro Sekunde zugeführte Energiemenge in Watt berechnen zu können; einfacher ist es, dieselbe mit einem Wattmeter direkt zu beobachten, doch bietet die unabhängige Bestimmung von Strom und Spannung andere Vorteile, so z. B. daß man in jedem Augenblick kontrollieren kann ob die Spannung der Batterie konstant bleibt oder wegen Erschöpfung derselben sinkt.

Die anzuwendende Spannung richtet sich nach den Dimensionen des Ofens. Im allgemeinen ist es zweckmäßig nicht zu hohe Spannungen zu benutzen, da beim Durchbrennen des Drahtes der dabei entstehende Lichtbogen um so länger dauert und um so größere Zerstörungen an dem Rohr anrichtet, je höher die Spannung ist. So wurde z. B. die Wand eines dem Ofen M_1 gleichen Ofens in dieser Weise auf eine größere Strecke hin vollkommen geschmolzen, als an dieser Stelle der Draht durchbrannte und ein Lichtbogen von 220 Volt entstand.

Die Dimensionen der Öfen sind in Tab. 1 zusammengestellt.

Tabelle 1.

Ofen Nr.	Material	Länge	Durchmesser des Heizrohres innen	außen	Zahl der Spiralen	Zahl der Windungen	Ganghöhe der Spirale	Drahtdicke	Bewickelte Rohrlänge	Drahtlänge	Widerstand bei 20°	Äußerer Ofen-
		mm	mm	mm			mm	mm	mm	m		m
3	Porzellan	400	10	13	2	je 60	6	0,30	375	2,62	{6,29 6,36}	35
3a	"	400	10	13	1	70	5,14	0,60	360	3,19	1,76	35
4	{Porzellan (A.E.G.)}	600	13	16	2	—	—	—	500	—	{2,37 2,33}	40
4a	Porzellan	600	13	16	1	83	—	1,0	—	—	ca. 1,2	40
5	"	600	12,5	16	1	108	4,77	0,80	515	5,62	1,90	40
6a	"	720	20	27,5	1	134	ca. 4,6	1,50	615	11,91	1,25	60
2	"	750	20	28	2	je 75	9,46	1,00	710	6,75	ca. 1,8	70
M_1	Marquardt	2020	22	43	1	306	—	1,5	—	—	ca. 3,3	90

Ofen 2 ist einer der ältesten. Die Temperaturmessungen sind sehr unsicher; deshalb ist er später nicht mehr aufgeführt.

Die Öfen 3 und 3a sowie 4 und 4a haben als Kern dieselben Rohre, die nach dem Durchbrennen der ersten Spiralen neu bewickelt wurden. Nr. 3, 3a, 6a und 2 sind beiderseits glasiert, 4, 4a und 5 nur innen. Unterschiede in der Haltbarkeit des Nickeldrahtes haben sich dadurch nicht ergeben. Nur sind die außen glasierten Rohre wegen ihrer Glätte schwerer gleichmäßig zu bewickeln.

In Tab. 2—5 sind für einige dieser Öfen die pro Sekunde zuzuführenden Energiemengen in Watt und die dabei im Innern erzeugten Temperaturen angegeben. Letztere wurden mit Le Chatelierschen Thermoelementen aus Platin und einer Legierung von Platin mit 10 Proz. Rhodium gemessen, indem die elektromotorische Kraft derselben nach dem Kompensationsverfahren durch Vergleich mit Normalclark- oder Kadmiumelementen bestimmt wurde. Die kalten Lötstellen hatten Zimmertemperatur. Bei der Messung wurde meist der in der voranstehenden Abhandlung über „Schallgeschwindigkeit der

Luft ..." auf p. 240 beschriebene Lindecksche Kompensationsapparat benutzt. Einige der Thermoelemente waren in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt durch Vergleichung mit einem Normalthermoelement geaicht worden, die anderen wurden mit diesen verglichen und so an die luftthermometrische Temperaturskala der Reichsanstalt angeschlossen. Zu Grunde liegen die neuesten von Holborn und Day veröffentlichten Werte, die von den früheren Holborn-Wienschen erheblich abweichen.

In den Tabellen bedeuten: J die Stromstärke in Amp., V die Spannung in Volt, JV die Leitung in Watt, t die Ofentemperatur in Celsius, $V/J = W$ den Widerstand der Heizspirale in Ohm, W/W_{20} das Verhältnis dieses Widerstandes zum Widerstand bei 20^0.

Tabelle 2.

Ofen 5.

J Amp.	V Volt	$J.V$ Watt	t	$V/J = W$ Ohm	W/W_{20}
4,18	17,0	70,7	290,2°	4,06	2,14
4,10	16,9	69,3	294,4	4,12	2,17
5,23	25,0	131,0	446,6	4,77	2,52
6,74	39,1	263,0	702,7	5,80	3,06
7,40	47,8	354,0	875,0	6,46	3,40
7,83	49,0	384,0	897,5	6,26	3,29

$W_{20} = 1{,}90$ Ohm.

Tabelle 3.

Ofen 6a.

J Amp.	V Volt	$J.V$ Watt	t	$V/J = W$ Ohm	W/W_{20}
8,58	26,0	223,0	440,6°	3,03	2,43
8,70	26,3	228,5	455,2	3,02	2,42
11,18	39,7	445,0	691,3	3,56	2,85
13,19	53,2	700,0	919,6	4,03	3,22

$W_{20} = 1{,}25$ Ohm.

Tabelle 4.

Ofen 3a.

J Amp.	V Volt	$J.V$ Watt	t	$V/J = W$ Ohm	W/W_{20}
3,67	15,9	58,5	300,0°	4,33	2,46
4,62	23,0	103,2	446,4	4,98	2,83
5,53	30,6	170,0	605,6	5,54	3,15
6,34	39,8	252,0	806,8	6,27	3,56
7,15	50,8	363,0	992,9	7,10	4,04

W_{20} = 1,76 Ohm.

Tabelle 5.

Ofen M_1.

J Amp.	V Volt	$J.V$ Watt	t	$V/J = W$ Ohm	W/W_{20}
7,7	74	570	405,2°	9,61	2,92
*7,3	74	540	447,0	10,13	3,07
*7,4	79,4	588	494,0	10,73	3,25
9,2	104	956	613,7	11,30	3,42
10,5	125	1310	691,4	12,00	3,64
*9,6	118	1130	766,3	12,30	3,73
13,0	176	2285	965,0	13,54	4,10

W_{20} = 3,30 Ohm.

Die angeführten vier Tabellen mögen genügen. In Fig. 1 ist eine graphische Darstellung der Resultate gegeben. Es sind auch die Kurven für Ofen 4 sowie für Ofen 3 mit eingezeichnet, deren Gestalt etwas von den anderen abweicht, die sich sonst ganz ähnlich sind. Bei Ofen M_1 sind die Ordinaten (die Leistungen in Watt) im Verhältnis 1 : 3 verkleinert, um die Kurve bequem einzeichnen zu können. Die wirklichen Energiemengen erhält man also für diesen Ofen durch Multiplikation der aus der Kurve entnommenen Zahlen mit 3. In der Tab. 5 sind natürlich die richtigen Werte von $J.V$ angegeben.

Die Daten für M_1 sind am wenigsten genau, da die Temperatur starke örtliche Variationen zeigte, und die Strom-

messung mit einem gewöhnlichen, nicht sehr genauen Ampèremeter ausgeführt wurde.

Auch störten die beträchtlichen Spannungsschwankungen in der städtischen Leitung, wie schon p. 261 bemerkt wurde. Die großen Abweichungen einiger, in Tab. 5 mit Sternen (*) bezeichneten, Werte von den übrigen rühren jedoch nicht von diesen Ungenauigkeiten der Messung her, sondern hauptsächlich davon, daß mehrfach der Wärmeschutzmantel durch Umlegen weiterer Messingrohre verstärkt wurde, wodurch jedesmal die zur Erreichung einer gewissen Temperatur nötige Energiemenge bedeutend sank. Aus der Kurve folgt übrigens, daß ohne die verstärkten Schutzhüllen der Energieaufwand bei M_1 etwa dreimal so groß ist wie bei 6a.

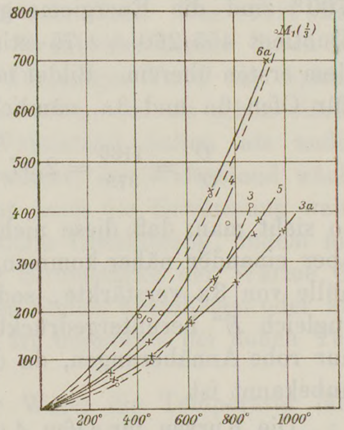


Fig. 1.

Abszissen: Ofentemperaturen in Celsius.

Ordinaten: Energieverbrauch in Watt.

Alle fünf Kurven steigen mit wachsender Temperatur immer steiler an, d. h.: damit die Temperatur um 1° erhöht wird, muß um so mehr Energie pro Sekunde zugeführt werden, je höher die Temperatur des Ofens ist. Das kommt offenbar von dem schnellen Anwachsen der äußeren Strahlung mit steigender Temperatur. Hiergegen verschwindet die Wärmeleitung an den Enden um so mehr, je länger der Ofen ist.

Eine einfache Beziehung zwischen der Größe des elektrischen Ofens und der zur Heizung nötigen Energiemenge ist aus den mir vorliegenden Daten nicht mit Sicherheit abzuleiten. Nach dem soeben über den Einfluß der äußeren Strahlung Gesagten wird es wesentlich auf die Größe und Temperatur der äußeren Oberfläche ankommen, die bei meinen Öfen immer von einem Messingzylinder gebildet wurde. Die Temperatur derselben habe ich nicht gemessen; ich schätze sie bei den höchsten Ofentemperaturen auf 200—300°; sie ist natürlich von der Dicke der Schutzhülle abhängig und deshalb

niedriger bei denjenigen Öfen, welche zwei konzentrische Messingmäntel erhalten haben. Bei diesen, d. h. den Öfen 5 und 6a stehen die aufzuwendenden Energiemengen ungefähr im Verhältnis der äußeren Oberflächen der Schutzmäntel. Zum Beispiel ist für Ofen 5 die Oberfläche $O = 630\,\text{cm}^2$, für Ofen 6a $O' = 1130\,\text{cm}^2$, der Quotient $1130/630 = 1{,}79$. Bei 700^0 sind die Energiemengen in Watt 260 und 455; der Quotient $455/260 = 1{,}75$ stimmt bis auf wenige Prozent mit dem ersten überein. Bildet man die entsprechenden Quotienten für Ofen 6a und 3a, nämlich

$$\frac{O'}{O''} = \frac{1130}{379} = 2{,}97 \quad \text{und} \quad \frac{E'}{E''} = \frac{455}{210} = 2{,}17,$$

so sieht man, daß diese nicht mehr gleich sind. Sie würden aber einander näher kommen, wenn man die Dicke der Schutzhülle von 3a verstärkte, sodaß O'' größer wird, wobei auch zugleich E'' heruntergedrückt würde. Doch sind das offenbar nur rohe Annäherungen, da die Temperatur der äußeren Hülle unbekannt ist.

Die Kurven für Ofen 4 und 5 bestätigen das auf p. 259 Gesagte über den besseren Wärmeschutz des Asbestes gegenüber der Chamotte. Beide haben dieselben Dimensionen und abgesehen von der Chamotte dieselben Hüllen. Ofen 3 hatte nur eine dünne Lage Astbestschnur, im übrigen aber einen Luftmantel als Wärmeschutz; auch hier ist, besonders in höherer Temperatur, die Wärmeabgabe größer als bei dem sonst ganz gleichen Ofen 3a, bei dem der Luftmantel durch Asbest ersetzt ist.

Was die Temperaturverteilung im Innern der Öfen betrifft, so hängt sie sehr von der mehr oder minder gleichmäßigen Wickelung der Spirale ab. Kleine Abweichungen von der mittleren Temperatur an einzelnen Stellen kann man dadurch korrigieren, daß man an diesen Stellen den äußeren Wärmeschutz verstärkt oder schwächt, ersteres durch Überschieben eines kurzen Metallrohres oder besser durch Umwickeln der Stelle mit Asbestschnur, letzteres indem man die betreffende Stelle durch Umhüllung mit nassen Lappen abkühlt. Je dicker aber der ganze Schutzmantel ist, um so langsamer und unvollkommener wirkt dies Mittel. Man tut

daher gut, wenn die Temperatur nicht von vornherein auf der ganzen zu benutzenden Strecke konstant genug ist, den Schutzmantel nicht zu dick zu wählen, um die Temperatur bequem regulieren zu können.

Auch die Art des Anheizens hat nach meiner Erfahrung Einfluß auf die Temperaturverteilung. Bei langsamem Heizen ist dieselbe gleichmäßiger als bei schnellem. Das rührt offenbar von der Vergrößerung des Drahtwiderstandes durch Erhöhung der Temperatur her. Diejenigen Teile der Spirale, die aus irgend einem Grunde — etwa weil sie schon stärker verbrannt sind — größeren Widerstand haben als andere gleich lange, werden höher erwärmt, ihr Widerstand wächst weiter und infolgedessen nimmt auch die Erwärmung weiter zu. Man vermeidet solche partielle Überhitzung, indem man durch langsame Steigerung der Stromstärke der Wärme Gelegenheit gibt, nach den kälteren Stellen abzufließen oder auszustrahlen. Letzterer Vorgang ist besonders bei hohen Temperaturen sehr wesentlich.

Um zu zeigen, in welcher Weise die Temperatur längs des Rohres variierte[1], gebe ich zwei Messungsreihen, welche die Temperatur auf den mittleren Strecken der Öfen 5 und 6a von Zentimeter zu Zentimeter enthalten. Es war in Ofen 5 bei der mittleren Temperatur 449,0°:

s cm	t^0	s cm	t^0	s cm	t^0	s cm	t^0	s cm	t^0	s cm	t^0
1	450,7	6	448,7	11	443,2	16	452,7	21	452,2	26	447,7
2	450,7	7	447,2	12	442,7	17	456,2	22	448,7	27	448,7
3	451,2	8	446,2	13	443,2	18	457,2	23	446,7	28	450,2
4	450,7	9	444,7	14	445,7	19	457,2	24	444,7	29	450,2
5	449,7	10	443,7	15	448,7	20	454,2	25	445,7	30	450,2

s bedeutet die Lage des Thermoelementes in Zentimetern, bei Teilstrich 15 war die Mitte des Ofens.

In Ofen 6a wurde gefunden bei der mittleren Temperatur 919,6°:

1) Vgl. hierzu die Tabelle bei L. Holborn u. E. Grüneisen, Ann. d. Phys. 6. p. 137. 1901.

s cm	t^0	s cm	t^0	s cm	t^0	s cm	t^0	s cm	t^0	s cm	t^0	s cm	t^0
1	919,1	6	915,5	11	920,0	16	915,5	21	905,8	26	919,1	31	931,6
2	915,5	7	917,3	12	920,0	17	912,9	22	911,1	27	921,8	32	931,6
3	914,6	8	923,6	13	921,8	18	907,6	23	912,9	28	924,5	33	932,5
4	914,6	9	926,3	14	921,8	19	904,0	24	913,8	29	929,8	34	936,9
5	913,8	10	921,8	15	919,1	20	900,4	25	915,5	30	930,7	35	941,4

Die Rohrmitte lag bei Teilstrich $s = 17$ cm.

Um die Temperatur im Innern der Öfen zu bestimmen, kann man, wenn es nicht auf große Genauigkeit ankommt, die Widerstandsvermehrung durch die Temperatursteigerung benutzen. Dazu ist nur die Kenntnis der Temperaturkoeffizienten des Heizdrahtes nötig. Allerdings wird diese Bestimmung deshalb sehr unsicher, weil die Spirale wegen des Temperaturabfalles an den Enden des Ofens nicht überall dieselbe Temperatur hat. Je länger der Ofen im Verhältnis zu seinem Umfang und je steiler der Temperaturabfall an den Enden ist, um so genauer arbeitet die Methode. Zu berücksichtigen ist ferner, daß die Temperatur der Spirale immer höher ist als die Innentemperatur des Ofens, weil die Drahtoberfläche verhältnismäßig klein, der Wärmeübergang auf den Ofenkern also erschwert ist, besonders wenn der Draht nicht überall gleichmäßig anliegt. Je nach der Güte des äußeren Wärmeschutzes ist der Temperaturüberschuß des Drahtes über den Ofen bald größer, bald kleiner. Aus allen diesen Gründen ist die Widerstandsvermehrung bei gleichen Ofentemperaturen für verschiedene Öfen recht ungleich. Die Tab. 2—5 zeigen in der fünften Kolumne das Anwachsen des Widerstandes. In der sechsten Kolumne sind zur besseren Vergleichung der verschiedenen Öfen die Quotienten dieser Widerstände dividiert durch die

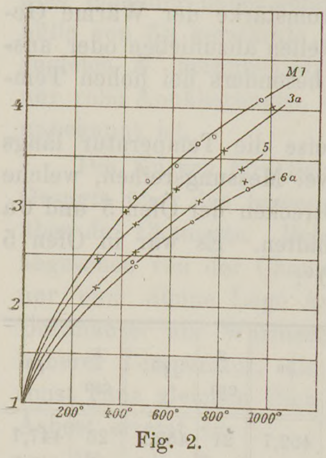


Fig. 2.
Abszissen: Ofentemperaturen in Celsius.
Ordinaten: Widerstandsverhältnis W / W_{20}.

betreffenden Widerstände bei 20° (Zimmertemperatur) angegeben, Fig. 2 zeigt diese Quotienten in graphischer Darstellung als Ordinaten, während die zugehörigen Ofentemperaturen die Abszissen bilden. Man erkennt deutlich, wie verschieden sich die Öfen verhalten. Je besser der Wärmeschutz ist, desto flacher verlaufen die Kurven.

Hat man einmal die zusammengehörigen Größen (Stromstärke, Spannung, Ofentemperatur) gemessen, so bieten die Kurven für jeden der Öfen die Möglichkeit einer recht genauen Temperaturbestimmung. Dasselbe gilt dann aber auch für die Kurven der Fig. 1, da der Wattverbrauch die Temperatur bestimmt.

Heidelberg, Physik. Inst. d. Univ., Januar 1903.

(Eingegangen 8. Februar 1903.)

JAUMANN, G., Leichtfassliche Vorlesungen über Elektrizität und Licht. 8°. [XII, 375 Seiten, mit 188 Abbildungen.] 1901. M. 6.—; geb. M. 7.20.

Monatschrift für höhere Schulen: Das Buch ist aus volkstümlichen Universitätsvorlesungen vor Anfängern an Hochschulen und Lehrern an Mittelschulen hervorgegangen. Solche Hörer und Leser dürften über genügendes Anschauungsvermögen verfügen, um die übrigens sehr klare hydrodynamische Einleitung und ihre spätere Anwendung auf die Maxwellsche Theorie zu verstehen. Die wenigen Formeln beschränken sich auf die elementarste Algebra. Jedenfalls kann das Buch bei dem glücklichen Griffe des Verfassers für einfache und anschauliche Analogieen Anfängern mit einiger Vorbildung warm empfohlen werden. *A. Slaby.*

STALLO, J. B., Die Begriffe und Theorien der modernen Physik. Aus dem Englischen übersetzt und herausgegeben von Prof. Dr. Hans Kleinpeter. Mit einem Vorwort von **Prof. Dr. Ernst Mach.** 8°. [XX, 332 Seiten, mit Porträt des Verf.] 1901. M. 7.—; geb. M. 8.50.

Monatschrift für höhere Schulen: Wie Hume den Kausalbegriff und d'Alembert den Kraftbegriff einer kritischen Prüfung unterzog, so nimmt der Verfasser der vorliegenden Schrift den Atombegriff unter die sondierende Lupe der Philosophie. Vom Standpunkt des reinen Empirismus und Phänomenalismus aus, den auch Mach in seinen „Prinzipien der Wärmelehre“ vertritt, sucht Stallo aus den Grundbegriffen der Physik alle metaphysischen Elemente zu eleminieren, verwirft den Atomismus und Mechanismus als Weltanschauung und objektive Grundlage der Physik und lässt ihn nur als ein Hilfsmittel der physikalischen Forschung und der Darstellung, als eine logische Fiktion gelten. Mit gründlichem historischen Wissen ausgerüstet und mit scharfem philosophischen Blick begabt, weiss er die Mängel des atomistischen Weltbildes freimütig und mit vielfach zwingender Klarheit bloszulegen. Gerade die Klarheit und Folgerichtigkeit, mit der diese Aufgabe gestellt und durchgeführt ist, haben dem Werke des leider schon verstorbenen Deutsch-Amerikaners in seinem Adoptiv-Vaterlande den grossen Erfolg verschafft, der ihm auch in seiner wirklichen Heimat in Deutschland gewiss nicht fehlen wird.

LECHER, Prof. Dr. ERNST, Über die Entdeckung der elektrischen Wellen durch H. Hertz und die weitere Entwickelung dieses Gebietes. Vortrag, gehalten in der Hauptsitzung der Hamburger Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte, am 23. September 1901. gr. 8°. [32 Seiten.] 1901. M. 1.20.

ROSENBERGER, FERDINAND, Die moderne Entwickelung der elektrischen Prinzipien. Fünf Vorträge. gr. 8°. [V, 170 Seiten.] 1898. M. 3.—.

Inhalt: 1. Die Theorien der elektrischen Imponderabilien im vorigen Jahrhundert. 2. Die Theorien der elektrischen Imponderabilien in unserem Jahrhundert. 3. Faraday und seine Umgestaltung der elektrischen Fundamente. 4. Die moderne Gestaltung der elektrischen Theorien. Ein Gleichnis. 5. Die Elektrizität und die fundamentalen Grenzbegriffe der Physik.

Mutter Erde: Mit stets steigendem Genusse habe ich diese Vorträge gelesen, die in fesselnder, ausserordentlich klarer durchsichtiger Sprache abgefasst, den Leser in die Geschichte der Elektrizität einführen.

KIRCHHOFF, R., Gesammelte Abhandlungen. 8°. [VIII, 641 Seiten, mit Porträt und 2 lithographischen Tafeln.] 1882. Dazu Nachtrag herausgegeben von **L. Boltzmann.** [137 Seiten mit 1 Tafel.] 1896. M. 18.60.

Es muss als eine erfreuliche Thatsache betrachtet werden, wenn sich die Grossmeister einer Wissenschaft entschliessen, die seit Jahren veröffentlichten Abhandlungen zu sammeln und sie somit dem Leser zugänglicher zu machen. Eine solche Sammlung ist die vorliegende, welche Aufsätze aus dem Gebiete der Lehre von der Elektrizität und vom Magnetismus enthält, über Elastizität, Optik, Hydrodynamik, Wellentheorie, Wärmetheorie, und über Emission und Absorption von Licht und Wärme berichtet und mit den berühmten Abhandlungen über Spektralanalyse schliesst. Der von Boltzmann nach K's Tode zusammengestellte Nachtrag bildet die willkommene Ergänzung zu dem Hauptwerke.

LAAR, J. J. van, Lehrbuch der mathematischen Chemie. Mit einer Einleitung von Prof. H. W. Bakhuis-Roozeboom. 8°. [IX, 224 Seiten, mit 28 Figuren.] 1901. M. 7.—; geb. M. 8.—

Deutsche Litteraturzeitung: Was das vorliegende Buch anlangt, so kann man ihm alles Lob erteilen. Es ist mathematisch zuverlässig, sogar elegant geschrieben und gewährt mit seiner Einteilung in zwei Abschnitte, von denen der erste die allgemeinen Grundlagen, der zweite die Erörterung der wichtigsten Anwendungen enthält, dem Anfänger eine gute Übersicht und dem Erfahrenen eine bequeme Benutzung. Auch mancherlei eigene Ergebnisse machen die Durchsicht interessant. Es wird demnach bald einen Bestandteil der Bibliothek des fortschreitenden Physikochemikers bilden und ist ein sehr erfreuliches Zeugnis für die wissenschaftliche Bedeutung dieses jungen Wissenszweiges. *W. Ostwald.*

Handbuch der Mathematik. Unter Mitwirkung von Prof. Dr. F. Reidt und Prof. Dr. R. Heger herausgegeben von Geh. Schulrat **Dr. O. Schlömilch.** Lex. 8°. 2 Bände. [Mit 580 Holzschnitten und 12 lithographischen Tafeln.] 1879—81. M. 39.—; geb. M. 43.80.

Handbuch der Physik. 2. Auflage. Unter Mitw Göttingen, Prof. Dr. F. Auerbach-Jena, D Prof. Dr. F. Braun-Strassburg, Dr. E. Brodh M. Cantor-Strassburg, Dr. S. Czapski-Jena, Leipzig, Prof. Dr. P. Drude-Giessen, Prof. D W. Feussner-Marburg, Prof. Dr. L. Graetz-Mü Wien, Prof. Dr. H. Kayser-Bonn, Dr. R. Luther-Leipzig, Prof. Dr. F. Pockels-Heidelberg, Dr. K. Pulfrich-Jena, Dr. M. v. Rohr-Jena, R. Schüttauf-Jena, Dr. J. Stark-Göttingen, Prof. Dr. R. Straubel-Jena, Prof. Dr. K. Waitz-Tübingen herausgeg. v. **Prof. Dr. A. Winkelmann** in Jena. Lex. 8⁰.

Von dem als Nachschlagewerk bekannten und geschätzten Handbuch kann das Erscheinen einer neuen, 2. Auflage rascher angezeigt werden, als bei Abschluss der 1. Auflage im Jahre 1896 angenommen worden war, ein Beweis, dass die Grundgedanken, nach denen die Bearbeitung stattgefunden hat, richtige waren.

Infolge der lebhaften Entwickelung auf vielen Gebieten der Physik wird der Rahmen des Werkes erweitert werden, sodass die 2. Auflage in 6 Bänden erscheinen soll und zwar in folgender Anordnung:

Band I: Allgemeine Physik. Band IV und V: Elektrizität und Magnetismus.
Band II: Akustik.
Band III: Wärme. Band VI: Optik.

Die Erscheinungsfolge der einzelnen Bände ist nicht an die Bandzahl geknüpft, so erscheint die Elektrizität (Band IV) und im Herbst 1903 die Optik (Band VI). Jeder Band ist einzeln käuflich.

Der soeben ausgegebene 1. Halbband von Band IV umfasst VI, 384 Seiten mit 142 Abbildungen und kostet M. 12.—.

Einige wenige komplete Exempl. der 1. Auflage sind zum bisherigen Preise von M. 105.— (in 5 Bänden geb. M. 117.—) noch zu beziehen.

Handwörterbuch der Astronomie. Unter Mitwirkung von Prof. Dr. E. Becker-Strassburg, Prof. Dr. E. Gerland-Klausthal, Dr. N. Herz-Wien, Dr. H. Kobold-Strassburg, Dr. N. v. Konkoly-Budapest, Prof. Dr. C. F. W. Peters (†), Dr. E. v. Rebeur-Paschwitz (†), Dr. Fr. Ristenpart-Kiel, Prof. Dr. W. Schur-Göttingen, Prof. Dr. H. Seeliger-München, Prof. Dr. W. Wislicenus-Strassburg, Dr. A. Zelbr (†) herausgegeben von **Prof. Dr. W. Valentiner** in Heidelberg. · Lex. 8⁰. Vier Bände in 5 Teilen. [Mit 489 Abbildungen und 11 Tafeln.] 1896—1902. Cpl. M. 100.—; geb. M. 112.—.

Bd. I. Allgemeine Einleitung. Abendweite — Finsternisse. [Mit 241 Abbildungen und 3 Tafeln.] 1897. M. 24.—.

Bd. II. Gnomon — Mechan. Quadratur. [Mit 39 Abbildungen und 4 Tafeln.] 1898. M. 20.—.

Bd. III¹. Meridiankreis — Polhöhe. [Mit 119 Abbildungen und 4 Tafeln.] 1899. M. 16.—.

Bd. III². Präcession — Theilfehler. [Mit 42 Abbildungen.] 1901. M. 20.—.

Bd. IV. Uhr — Zodiacallicht. Anhang. [Mit 48 Abbildungen.] 1902. M. 20.—.

Jeder Teil kostet gebunden M. 2.40 mehr.

LORENTZ, H. A., Lehrbuch der Differential- und Integralrechnung und der Anfangsgründe der analytischen Geometrie. Mit besonderer Berücksichtigung der Studierenden der Naturwissenschaften. Unter Mitwirkung des Verfassers übersetzt von Prof. Dr. **G. C. Schmidt.** gr. 8⁰. [VIII, 476 Seiten, mit 118 Figuren.] 1900. M. 10.—; geb. M. 11.—.

Naturwissenschaftliche Rundschau: Wir wiederholen zum Schlusse unsere Meinung: das Buch ist zur ersten Einführung in die Infinitesimalrechnung vortrefflich geeignet und verdient wegen der befolgten Methode auch die Beachtung der Hochschullehrer.

Elektrotechnische Zeitschrift: Das Buch eignet sich recht gut zum Selbststudium und kann Physikern und Technikern bestens empfohlen werden.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.